

PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICA PARA LA
CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE
IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS VULNERABLES
PARA LA MEJORA DE LA PREVENCIÓN DE
INCENDIOS FORESTALES Y LA RESTAURACIÓN
AMBIENTAL MEDIANTE INTELIGENCIA
ARTIFICIAL, EN EL MARCO DEL PROYECTO
0121_REFLORESTA_6_E DEL PROGRAMA
INTERREG ESPAÑA-PORTUGAL (POCTEP 2021-
27)

CONTR 2025 280222



JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 1 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



1. INTRODUCCIÓN

La Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente, de ahora en adelante La Consejería, a través de la Dirección General de Política Forestal y Biodiversidad, ejerce las competencias relacionada con la prevención de los incendios forestales y la restauración de sus efectos, en el marco de la planificación preventiva en el terreno forestal a escala comarcal y regional.

El proyecto de cooperación plurirregional REFLORESTA, (“Innovación tecnológica, social y en gobernanza para mejorar la prevención y acelerar la recuperación de los ecosistemas y paisajes afectados por incendios”), se desarrolla en el marco del Programa Interreg España-Portugal (POCTEP) 2021-2027.

REFLORESTA supone una oportunidad para mejorar el conocimiento relacionado con la mayor vulnerabilidad de los incendios y la mayor gravedad de los mismos ante el cambio climático, si bien los cambios en los usos del suelo por la despoblación rural, las nuevas tendencias económicas, la regulación agraria, etc... agravan la vulnerabilidad de un Espacio Transfronterizo que es eminentemente forestal.

La Junta de Andalucía lidera en el Proyecto a través de la Consejería de Sostenibilidad y Medio Ambiente (como Beneficiario Principal, BP) y a través de la Agencia de Medio Ambiente y Agua (como Beneficiario).

Tanto la PREVENCIÓN de incendios como la RECUPERACIÓN o RESTAURACIÓN después de éstos son medidas clave para mejorar la resiliencia, y el Proyecto REFLORESTA se centra en ambos desafíos con enfoques innovadores:

1. Aborda la prevención empleando por 1ª vez técnicas de Inteligencia Artificial para que en la detección de vulnerabilidades y puntos de especial riesgo puedan gestionarse nuevas variables meteorológicas, ambientales y territoriales así como la memoria de todos los incendios registrados, a partir de series históricas de datos de los últimos 40 años.

2. En materia de Restauración o Recuperación el objetivo es crear paisajes más resilientes ante el cambio climático y ante futuros incendios.

El resultado que persigue REFLORESTA se orienta a la mejora de la gobernanza preventiva, la restauración inteligente de ecosistemas y una mayor resiliencia de ecosistemas y paisajes.

El presente servicio utilizará técnicas de Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos aplicadas a la evaluación del riesgo incendio, cumpliendo de esta forma parte del Plan de Trabajo que tiene asignada la Secretaría General de Medio Ambiente, Cambio Climático y Economía Azul en el proyecto REFLORESTA, concretamente la Acción A.1.1. de la Actividad 1 (Prevención de incendios mediante el empleo de inteligencia artificial) del proyecto.

2. OBJETIVOS

El presente pliego tiene por objeto definir las prescripciones técnicas que regirán al contrato de servicio para el desarrollo mediante Machine Learning de un modelo que permita determinar el riesgo de incendio en Andalucía a partir de series de datos integrados en la REDIAM¹ de los últimos 40 años de variables meteorológicas, ambientales y geográficas y de todos los incendios registrados en Andalucía en ese mismo periodo. Los conjuntos de datos seleccionados se usarán conjuntamente con colecciones de imágenes satelitales que facilitarán la extensión espacial del modelo así como la consistencia temporal del mismos.

Se debe hacer notar que aunque el territorio andaluz perteneciente al ámbito POCTEP se circunscribe a las provincias más occidentales de la Comunidad Autónoma, el ámbito territorial del presente servicio se

1 REDIAM: Red de Información Ambiental de Andalucía

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 2 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



extiende a toda Andalucía. La razón de la ampliación responde a cuestiones meramente técnicas y de oportunidad. De esta forma, el incremento de las series de datos de las temáticas a utilizar contribuye a la validación del modelo, disminuyendo su incertidumbre y mejorando la precisión del algoritmo generado. Esta posición se ve reforzada por el propio Proyecto REFLORESTA que a la hora de describir las etapas de la acción del Proyecto A.1.1 (Técnicas de inteligencia artificial y ciencia de datos aplicadas a la evaluación del riesgo incendio) se circunscribe a todo el territorio andaluz al expresarse dicha fase en los términos siguientes: “CREACIÓN DE UN CONJUNTO DATOS DE CARACTERIZACIÓN DE INCENDIOS FORESTALES A PARTIR DE LA INFORMACIÓN AMBIENTAL DISPONIBLE EN ANDALUCÍA.”

3. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS A DESARROLLAR

El servicio objeto de la presente contratación se desarrollará en tres etapas:

1. Creación de un conjunto datos de caracterización de incendios forestales a partir de la información ambiental disponible en Andalucía.
2. Desarrollo mediante Machine Learning de un modelo que permita determinar el riesgo de incendio.
3. Creación de una cartografía sobre riesgo de incendio adecuada a los resultados del modelo.

A continuación se desarrollará cada una de las etapas definidas.

3.1. Creación de un conjunto datos de caracterización de incendios forestales a partir de la información ambiental de Andalucía.

La Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) trabaja con datos de variables ambientales relevantes en la prevención de incendios. Para la creación de este conjunto de datos se consideran oportunas las variables:

- METEOROLÓGICAS (precipitación, temperatura, humedad relativa del aire, velocidad y dirección predominante del viento...).

- AMBIENTALES involucradas en el SURGIMIENTO Y EVOLUCIÓN DE INCENDIOS (humedad del suelo, grado de cubierta vegetal, intensidad de la actividad vegetal...)

- GEOGRÁFICAS (litología, relieve) que mediante análisis GIS 3D de los Modelos Digitales del Terreno LIDAR PNOA 2015 y 2021, u otros modelos derivados de otras fuentes permiten analizar:

- a) la exposición solar y su impacto en temperatura, humedad del suelo, vegetación
- b) la erosión, en función de las pendientes y cubierta vegetal

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 3 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



c) la exposición a los vientos (clave en transmisión incendios)

d) la evolución de los Usos del Suelo

Estos conjuntos de datos serán analizados y tenidos en consideración para su inclusión como variables predictoras dentro de las fase de entrenamiento del modelo mediante aprendizaje automático.

3.2. Desarrollo mediante Machine Learning de un modelo que permita determinar el riesgo de incendio.

Se evaluarán diversas tipologías de modelos basados en aprendizaje automático y profundo (Deep Learning). Determinada la capacidad de predicción de cada modelo, se considerará el entrenamiento de un modelo resultado de un ensamblado de los anteriores con objeto de mejorar el rendimiento.

A continuación se describe de forma general el proceso seguir.

3.2.1 Descripción general del desarrollo mediante Machine Learning de un modelo que permita determinar el riesgo de incendio.

- Se trata de crear un modelo o conjunto de modelos o ensamblado de los mismos que, a partir de imágenes satelitales y datos ambientales relevantes, estime un índice entre 0 y 1 que represente la probabilidad de ocurrencia de incendio en un área del territorio. El rango temporal de estas imágenes esta comprendido entre 1998 y 2024. La modelos tienen que estar basados en las arquitecturas de redes neuronales habituales dentro del aprendizaje profundo o Deep Learning.
- Se generarán diferentes datasets, de acuerdo a diferentes tamaños de imágenes. Para cada dataset se generarán los modelos o conjuntos de modelos correspondientes.
- Como puntos de partida se tomarán una colección de unos 24.500 puntos conocidos donde históricamente se han originado conatos (igniciones) o incendios forestales. Estos puntos pertenecen al periodo 1998-2023 Estos puntos tendrá asignada una etiqueta de valor “1”. Estos datos serán proporcionados al adjudicatario por parte del responsable del contrato.
- Adicionalmente será necesario hacer una recopilación adecuada de puntos de control que en ese periodo nunca fueron puntos de inicio de incendio forestal. Esta recopilación deberá ser uniforme espacialmente y debe recoger, de forma balanceada o no sesgada, la diversidad de usos y tipos de vegetación existentes del territorio andaluz, dentro de un nivel de agregación adecuado. Además, la asignación de fechas de estos puntos debe hacerse acorde a la distribución de la ocurrencia de incendios en cada año, de manera que exista para cada mes el mismo número de eventos de “incendio” que de “no incendio”. Estos puntos de control estarán etiquetados con el valor “0”.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 4 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



- Los datasets generados y que se usen para el entrenamiento de modelos deberán estar balanceados en la clases “0” y “1”, es decir debe haber aproximadamente un 50% de cada clase.
- Una vez entrenados los modelos, sus predicciones deben proyectarse en una cuadrícula que cubra el territorio andaluz de acuerdo a las dimensiones de las imágenes empleadas.

Por tanto, el flujo de trabajo seguirá las siguientes fases:

1. Adquisición de imágenes satelitales y datos ambientales. Esto se realizará mediante las API's correspondientes o mediante algún otro tipo de conexión a Repositorios públicos de colecciones de imágenes satelitales o datos ambientales relevantes.

2. Creación de datasets para diferentes escalas de trabajo. Estas escalas estarán definidas por el tamaño de las imágenes y el tamaño de pixel de las mismas. La captura de datos ambientales y el grado de agregación estará supeditado a la escala de trabajo correspondiente. Cada dataset será el punto de partida para la generación de diferentes modelos. Este proceso generará una serie de datasets de datos brutos.

3. Preparación de datos. Posteriormente, los datos son tratados para que puedan ser asimilados por los modelos correspondientes. Incluye la limpieza, corrección y transformaciones básicas necesarias de los datos adquiridos. Este proceso generará una serie de datasets ya definitivos y listos para usar.

4. Ingeniería de características. Sobre cada dataset definitivo, se hará una selección de las variables ambientales, bandas de imágenes satélites, o combinación de las mismas que sean relevantes para el proceso de clasificación en particular llevado a cabo y que además permitan que los modelos alcancen la eficiencia requerida.

5. Particiones entrenamiento-validación-test. De forma orientativa, las particiones serán en la proporción 70/20/10 y sobre los datos de entrenamiento se empleará “validación cruzada” de al menos 5 subconjuntos o pliegues.

6. Generación de modelos. En general los modelos deberá entrenarse sobre una arquitectura de redes neuronales resultado de una concatenación o combinación de las diferentes arquitecturas (Conv2D, Autoencoders, GAN's, etc.) . También es factible el uso de modelos pre-entrenados existentes de código abierto.

7. Validación de modelos: El desempeño de estos modelos en la clasificación de incendio/no incendio deberán superar ciertos umbrales tanto en la curva ROC como en la matriz de confusión correspondiente. La precisión o accuracy tanto del modelo en su conjunto como particularmente de las clases "incendio" y "no incendio, debe ser al menos del 85%. En el caso de que dicha precisión no se alcanzará, se deberá justificar adecuadamente las razones por las que no se han alcanzado dicho umbral.

8. Generación de mapas semanales de predicciones. Serán un total de 52 mapas correspondientes al 2024. En estos mapas se proyectarán las predicciones semanales de probabilidad de incendio, a partir del

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 5 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



modelo o conjunto de modelos candidatos, con los datos de entranamiento correspondientes al periodo 2017-2023.

Señalar además las siguientes precisiones:

1. Respecto del **código y bibliotecas de entrenamiento** el entorno de lenguaje de programación en el que implementarán todos los desarrollos es Python 3.9 o superior.

2. Las bibliotecas para entrenamiento Deep Learning serán keras y tensorflow en la versión que proporcione un rendimiento más óptimo y seguro de acuerdo a la versión de python que se use como entorno de programación. Y,

3. Todo el código de los desarrollos necesarios se entregará en forma **Jupyter Notebooks**, en donde se documentarán de forma detallada todos los procedimientos llevados a cabo: adquisición de datos, transformación y preparación de datos, entrenamiento y evaluación de modelos y proyección de resultados en los mapas correspondientes.

3.3. Creación de una cartografía sobre riesgo de incendio adecuada a los resultados del modelo

La ejecución del Modelo permitirá realizar predicciones para distintos escenarios temporales y generar mapas de riesgo de incendio.

4. INFORMACIÓN DE PARTIDA

4. 1. Datos de referencia.

Para la adquisición de imágenes satelitales y de datos ambientales se proporcionará la siguiente información de referencia:

- Localización y fechas de conatos e incendios forestales en el periodo 1998-2024.
- Perímetros de áreas quemadas de incendios forestales en el periodo 2000-2024.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 6 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



4.2. Fuentes de datos.

Las fuentes de datos serán principalmente:

- Colecciones de imágenes satelitales de acceso público.
- Repositorio de datos ambientales de la REDIAM.
- Servicios de datos ambientales de acceso público del programa Copernicus.
- Cualquier otra fuente de información de interés propuesta por el adjudicatario y validada por la Dirección Técnica.

En concreto se consideraran y evaluarán las siguientes fuentes de datos:

- **Colección de de Imágenes Sentinel 1.**
- **Colección de Imágenes Sentinel 2.**
- **Colección de de Imágenes Landsat 5.**
- **Colección de de Imágenes Landsat 8 y 9.**
- **Colección de de Imágenes MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).**
- **Datos ERA 5.** Es un conjunto de datos de reanálisis climático proporcionado por el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo (ECMWF). Ofrece información sobre el clima y las condiciones atmosféricas pasadas, reconstruidas a partir de modelos climáticos y observaciones. La resolución espacial de los datos es de 11 km. Entre las variables que ofrece, destaca:
 - Precipitación total.
 - Evaporación total.
 - Escorrentía superficial total.
 - Temperatura: Temperatura mínima de rocío a 2m, Temperatura máxima de rocío a 2m, Temperatura mínima a 2m., Temperatura máxima a 2m., Temperatura de la superficie terrestre mínima y Temperatura de la superficie terrestre máxima.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 7 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



- Velocidad del viento: Componente x de la velocidad del viento a 10 m de altura. Valor mínimo, Componente x de la velocidad del viento a 10 m de altura. Valor máximo, Componente y de la velocidad del viento a 10 m de altura. Valor mínimo y Componente y de la velocidad del viento a 10 m de altura. Valor máximo.

- Presión: Presión mínima en la superficie, Presión máxima en la superficie.

- Flujo de calor latente: Flujo de calor latente superficial Máximo y Flujo de calor latente superficial Mínimo.

- Radiación: Radiación neta mínima en la superficie, Radiación neta máxima en la superficie, y Radiación neta mínima en la superficie.

- Flujo de calor: Flujo de calor sensible mínimo y Flujo de calor sensible máximo.

- Índice de área foliar: Índice de área foliar para vegetación alta e Índice de área foliar para vegetación baja.

- Humedad: Contenido en humedad en el dosel vegetal + superficie del suelo.

- Evaporación: Evaporación total desde la parte superior del dosel vegetal, Evaporación mínima desde la parte superior del dosel vegetal, Evaporación máxima desde la parte superior del dosel vegetal, Evaporación mínima debida a la transpiración vegetal y Evaporación máxima debida a la transpiración vegetal.

- **Copernicus regional reanalysis for Europe (CERRA):**. Este servicio de datos es una parte del Servicio de Cambio climático del programa Copernicus que tiene como objetivo producir y entregar un reanálisis de datos ambientales y climáticos a nivel regional para Europa.

Este servicio ofrece, entre otros, datos de las siguientes variables a diferentes niveles de presión (500, 700 y 850 hPa): Humedad Relativa, Energía Cinética de Turbulencia, Componente V de la velocidad del viento, Componente U de la velocidad del viento, Geopotencial y Temperatura.

- **Copernicus DEM GLO-30: Modelo digital de elevaciones de 30 m de resolución.**

- **Repositorio REDIAM:** La Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) dispone en su repositorio de datos relevantes dentro de la variables relacionadas con la evaluación de riesgo y susceptibilidad de incendios. Entre ellos se destaca:

- Modelos digitales de elevaciones de alta resolución. (Datos estáticos).

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 8 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



- Modelos digitales de pendientes. (Datos estáticos).
- Datos históricos de eventos de conatos (igniciones) e incendios forestales.
- Datos de precipitación y temperatura diarias. (Mapas raster diarios).
- Datos de humedad relativa. (Mapas raster diarios).
- Datos de usos y ocupación del suelo. (Datos estáticos).
- Mapas de vegetación. (Datos estáticos).

Descargas REDIAM: <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/acceso-rediam/descargas>

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 9 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



5. TRATAMIENTO Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN UTILIZADA Y GENERADA

5. 1. Adquisición de datos.

La adquisición de datos será mediante APIs de uso público, preferiblemente mediante la API del servicio Google Earth Engine o Sentinel Hub sin menoscabo de usar otras APIs específicas que se consideren oportunas. Los datos CERRA tienen su API propia.

La localización y la fecha necesarios para la adquisición de imágenes se incluyen la información de referencia de puntos de conatos e incendios forestales.

El tamaño en pixel de las imágenes será, 25x25, 50x50 y 100x100 para las imágenes Sentinel 1 y 2, considerando un tamaño de pixel de 10 metros. Para las imágenes Landsat 5, 8, y 9 las dimensiones serán 25x25 y 50x50 con un tamaño de pixel de 30 m.

La imagen será adquirida de manera que las coordenadas de la localización suministrada sean el centroide de un cuadrado con las dimensiones de imágenes citadas anteriormente. Esto supone cuadros de captura de 250x250 m, 500x500m y 1.000x1.000 m para Sentinel 1 y 2, y 750x750 m y 1.500x1.500m para Landsat 5, 8 y 9.

La fecha de adquisición de la imagen será la fecha previa más próxima a la fecha del incendio.

A priori no se descartará el uso de ninguna banda. Mediante ingeniería de característica se determinará qué bandas son las que finalmente se descartarán.

La adquisición de la imagen se hará inicialmente en los 10 días previos a la fecha del incendio, teniendo preferencia las imágenes más próximas a la fecha del incendio. No obstante durante el transcurso de los trabajos se acordará con la Dirección Técnica el intervalo de días que mejor se ajuste a cada adquisición de imágenes. En caso de presencia de nubes podría usar pixeles de otras imágenes recogidas en el intervalo de tiempo mencionado

Las imágenes deberán estar libres de nubes ya sea por aplicación de algún algoritmo de eliminación, por mosaico de las imágenes adquiridas en el intervalo de adquisición aplicado o alguna combinación de ambos procedimientos. Si el porcentaje de nubes es tal que no permite caracterizar la zona de captura, se descartar su utilización.

Todas las imágenes y datos tendrán que ser adquiridas en el sistema de referencia de coordenadas EPSG: 25830.

Se creará una tabla de control donde se recojan los metadatos de cada imagen en paralelo con la fecha del incendio correspondiente.

5. 2. Corrección de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales Landsat 5, Landsat 8, Sentinel 2 y MODIS tendrán que tener aplicadas las correcciones geométricas y atmosféricas correspondientes, debiendo por tanto corresponderse a valores de reflectancia medidos en superficie.

Sobre las imágenes de radar de Sentinel 1, se deben realizar correcciones de los valores de órbita, reducir el ruido térmico del sensor, calibrar la imagen considerando el ángulo de incidencia local y aplicar un filtro

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 10 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



para reducir el moteado. Por otra parte, se realizarán las correcciones topográficas oportunas y de ortorrectificación para asegurar que la imagen refleje de manera fidedigna el relieve terrestre.

5. 3. Transformación de imágenes y datos.

Como posibles transformaciones de datos se considerarán las siguientes, sin menoscabo de que puedan usarse otras que sean igualmente aplicables:

- Generación de índices basados en bandas.
- Autoencoders.
- Normalización de datos.
- Descomposición de variables en otras que faciliten al modelo el aprendizaje.
- Uso de imágenes gradiente.
- Índices satelitales resultado de combinaciones de las diferentes bandas de las que se compone la imagen. La definición de los índices considerados serán de acuerdo al listado de índices que se incluye en Sentinel Hub (<https://custom-scripts.sentinel-hub.com/>) para las colecciones de imágenes correspondientes.

Cada una de las bandas de las imágenes satelitales como los índices generados son de facto variables y, por tanto, mediante la ingeniería de características deberá determinarse hasta que punto son relevantes para alimentar el entrenamiento de los modelos.

5. 4. Conjuntos de datos, estructura de carpetas y trazabilidad

Los conjuntos de datos (o datasets) generados estarán compuestos tanto por los datos recopilados de puntos de conatos o incendios forestales como de puntos de control donde nunca ha ocurrido un incendio.

Cada dataset, tanto de datos brutos como de datos transformados, vendrá descrito por la **ficha de datos** correspondiente donde se recoja una descripción completa de su contenido y de las transformaciones llevadas a cabo.

Los **puntos de control** llevarán asociada la etiqueta '0' y deberán ser elegidos en un número igual al de puntos de incendio que se incorporen en el conjuntos de datos y en localizaciones con diferentes usos y/o vegetación con el fin de garantizar la diversidad de la información recogida. Ambos reunirán exactamente el mismo tipo de información.

La **fecha** asignada a los puntos de control será aleatoria en el año, aunque deberá ajustarse a la distribución del histograma de número incendios por mes de ese año.

Se prestará especial atención del uso de datos que caracterizan el territorio dentro del mismo marco o secuencia temporal con el fin mantener la homogeneidad temporal de los datos.

Respecto de los **archivos tfrecord**, los conjuntos de datos o datasets se estructurarán en formato de tensores de tensorflow, debiendo estar empaquetados cada uno de ellos en un archivo tfrecord. Estos archivos contendrán las series de datos siguientes:

- **Identificador:** Código alfanumérico que identifica de forma unívoca cada conato o incendio forestal. Se proporciona en la información de referencia.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 11 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



- **Localización:** Tupla que contiene las coordenadas X, Y en el sistema de coordenadas EPSG 25830 del punto de conato o incendio forestal.
- **Bandas de imágenes:** Contiene las matrices que representan cada una de las bandas de las imágenes que caractericen al incendio de entre las fuentes incluidas en la sección 4.4. En la descripción de los entregables se indican las bandas correspondientes para cada conjunto de datos generado.
- **Vector de datos ambientales:** Tupla con los datos ambientales recopilados de los productos ERA5, CERRA y REDIAM. En el descripción de los entregables se indica que variables se incluirán en estos datasets.
- **Vector de datos de fecha:** Tupla con la fecha del incendio en la forma (año, nº de mes del año, nº semana del año, nº de día del año).
- **Etiqueta asociada:** La etiqueta será “1” para los correspondientes coordenadas de conatos o incendios forestal y la etiqueta “0” para los puntos de control.

En relación a la estructura de carpetas, su objetivo es doble, por un lado tener disponibles las imágenes georreferenciadas para su rápida visualización en un entorno GIS y, por otro, permitir crear datasets personalizados mediante generadores de datasets. Para ello, cada uno de los datasets creados en los tfrecord deberá ser volcado a una estructura de carpetas y nombres que permita fácilmente realizar las búsqueda por identificador de incendio, colección y banda de cualquier banda de cualquiera de las imágenes de las colecciones indicadas. Cada una de las bandas deberá estar en formato geotiff con el sistema de referencia EPSG 25830.

Los archivos con los vectores de datos ambientales y de localización asociados a cada incendio quedarán caracterizados de manera una forma similar.

Los conjuntos de datos deberán tener una trazabilidad de manera que todos ellos partirán de una versión inicial que será la obtenida directamente desde las API's y que será almacenada en el archivo tfrecord. Posteriormente, sobre este dataset con datos en bruto se harán las transformaciones pertinentes hasta llegar al conjunto de datos preparados para ser usados como inputs por el modelo.

Este conjunto de datos ya listo para usar deberá estar igualmente en un archivo tfrecord. El código del pipeline o flujo de trabajo con todas estas transformaciones necesarias debe quedar reflejado en el correspondiente notebook, de manera que sea perfectamente reproducible.

5. 5 Arquitectura del modelo, métricas de evaluación de modelos y proyección del modelo.

Entrando en la **arquitectura del modelo**, cabe señalar que el modelo o modelos finales deberán ser de clasificación binaria sobre una arquitectura de redes neuronales convolucionales. No obstante, el modelo podrá ser el resultado de una concatenación o combinación de las diferentes arquitecturas (Conv2D, Autoencoders, Resnet, GAN's, etc...) que proporcione al final un índice entre 0 y 1. También es factible el uso de modelos pre-entrenados existentes de código abierto pero, en este caso, que posteriormente sean calibrados con las imágenes y datos ambientales de los datasets recopilados.

Las métricas empleadas serán las habituales para clasificación binaria: Precisión o Accuracy, Matriz de confusión y Área bajo la curva ROC.(AUC).

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 12 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



Para la generación de los mapas de probabilidad de incendio, el modelo o modelos finales deberá tener al menos un precisión (Accuracy) del 85%. En el caso de que la precisión obtenida sea menor, el adjudicatario deberá justificar dicho valor.

En el caso de que se usen modelos de regresión (por ejemplo en el caso de usar Autoencoders o GAN's) se usarán, según convengan, las métricas habituales como el error medio cuadrático (MSE), la raíz cuadrada del error medio cuadrático (RMSE) o el error medio absoluto. Los umbrales mínimos para estas métricas deberán definirse y justificarse de acuerdo al modelo específico que sea entrenado. Esto no impide que se puedan definir, por parte del adjudicatario, métricas personalizadas debidamente justificadas.

Las estimaciones realizadas por el modelo (o modelos) deben proyectarse de acuerdo a una malla regular que cubra todo el territorio andaluz. Las dimensiones en metros de las cuadrículas de esta malla serán las mismas que la de las imágenes usadas en el entrenamiento del modelo correspondiente.

6. ENTREGABLES

El presente contrato de servicio tiene como objeto prestaciones dirigidas a la obtención de un resultado a través de los siguientes entregables:

Entregable 1: Conjuntos de datos o datasets

1- Memoria donde se describa de forma justificada la adquisición y preparación de los datos seleccionados y la estructura de los mismos para su utilización en la etapa 2. Además, se incluirán los notebooks con el código en python correspondiente para poder replicar tales procesos además de la generación de todos los datasets usados durante el entrenamiento. Cada uno de estos datasets estará metadatado con su linaje correspondiente.

2- Conjuntos de datos tabulares. Serán proporcionados en archivos con formato “.csv”, manteniéndose en todos los instantes las especificaciones indicadas en la sección 5.

3- Conjuntos de datos de imágenes. El número de datasets será de acuerdo a las dimensiones de las imágenes empleadas (ver tabla adjunta). En estos datasets deberán incluirse los datos complementarios que se hayan usado en el entrenamiento, los cuales deberán ser interpolados espacial y temporalmente de acuerdo a las dimensiones y cadencia temporal de las imágenes. Las imágenes Landsat se entienden que cubren un continuo en el tiempo, usando en cada momento la colección correspondiente.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 13 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



Resolución del pixel (metros)	10	10	10	30	30
Dimensión de la imagen (pixels)	25x25	50x50	100x100	25x25	50x50
Periodo	2017-2023	2017-2023	2017-2023	1998-2023	1998-2023
Dataset	Sentinel 2 + Sentinel 1 + GLO30 + ERA 5 + CERRA + REDIAM + FECHA + ID	Sentinel 2 + Sentinel 1 + GLO30 + ERA 5 + CERRA + REDIAM + FECHA + ID	Sentinel 2 + Sentinel 1 + GLO30 + ERA 5 + CERRA + REDIAM + FECHA + ID	Landsat 5 + Landsat 8 + Landsat 9 + GLO30 + ERA 5 + CERRA + REDIAM + FECHA + ID	Landsat 5 + Landsat 8 + Landsat 9 + GLO30 + ERA 5 + CERRA + REDIAM + FECHA + ID
Estimación del n.º máximo de imágenes clase 'incendio'	8000	8000	8000	24500	24500
Aumento de datos (giros de 90, 180 y 270 grados)	24000(8000x3)	24000(8000x3)	24000(8000x3)	73500(24500x3)	73500(24500x3)
Estimación del n.º máximo de imágenes clase 'incendio' incluido aumento de datos	32000	32000	32000	98000	98000
Estimación del n.º máximo de imágenes clase 'NO incendio'	32000	32000	32000	98000	98000
Total Imágenes del Dataset	64000	64000	64000	196000	196000

Cualquier cambio propuesto respecto de lo solicitado en relación al conjunto de datos y datasets a utilizar, se acordará con la Dirección Técnica.

Entregable 2: Entrenamiento y validación de modelos

1 - Código completo, que permita reproducir el entrenamiento de los modelos entregados. Esto incluye el pipeline completo de creación de cada dataset y la preparación del mismo para el entrenamiento. Este código se entregará Jupyter Notebooks, en donde se incluirán las explicaciones, gráficas de métricas y resultados correspondientes. Además de hacer disponible estos documentos en repositorio de código, se proveerá una máquina virtual donde reproducir fielmente el procedimiento.

2. Memoria descriptiva del proyecto que incluirá las siguientes secciones:

- Resumen ejecutivo detallado para no especialistas en el tema.
- Introducción general al trabajo realizado.
- Descripción de las metodologías, algoritmos y arquitecturas de redes neuronales empleadas.
- Los detalles de los pipelines y modelos desarrollados, junto con las métricas correspondientes.
- Análisis comparativo del desempeño de los diferentes modelos entrenados y los datasets empleados en cada uno de ellos con la importancia de las variables en cada uno de ellos.
- Conclusiones.
- Referencias.
- Requisitos mínimos del sistema para la replicación de los procesos.
- Guía de instalación de la máquina virtual.

Entregable 3: Aplicación. Mapas de índice de riesgo de incendio forestal 2024.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 14 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



Como caso de puesta en producción del modelos entrenado se crearán mapas semanales de riesgo de incendio forestal para todo el año 2024 (1 mapa por semana) de acuerdo al modelo o conjunto de modelos con mejor desempeño. El proceso de inferencia se llevará a cabo sobre la misma malla empleada para la captura de imágenes.

Además, se entregará un mapa agrupado por estaciones y un mapa agrupado correspondiente a un año natural.

Entregable 4: Guía de aplicación de los resultados obtenidos en lo referente a la gobernanza en la prevención de incendios forestales.

Se desarrollarán en esta guía recomendaciones debidamente justificadas cuyo objetivo es:

- Proporcionar un documento que sirva como herramienta práctica para los responsables de la gobernanza en la prevención de incendios forestales.
- Ayudar a tomar decisiones informadas y efectivas basadas en los mapas semanales de riesgo de ignición, el análisis de las características clave de las áreas de alto riesgo y la integración con otras herramientas y enfoques de evaluación de riesgos.

Para ello, se realizará un análisis de los mapas resultantes en relación con:

- **Gestión del Territorio (Uso y ocupación del suelo):** Distribución de ámbitos forestales, agrícolas, zonas industriales, infraestructuras de comunicación,...
- **Análisis de Causas:** Usar los datos de las variables empleadas incluidas en el entrenamiento y los resultados obtenidos para investigar las causas subyacentes al riesgo, susceptibilidad y recurrencia de incendios en ciertas áreas.

Se proporcionará información relativa a:

• **Análisis e Identificación de Áreas de Riesgo:**

* En base a los análisis realizados, proporcionar criterios claros utilizados para la definición de esta clasificación de riesgo alto, medio y bajo.

* Instruir sobre cómo analizar e interpretar los mapas semanales.

• **Consideración de Escalas Temporales Múltiples:**

* Posibles explotación de agregación temporal de mapas semanales para obtener indicadores de riesgo en rangos temporales más amplios (mensuales, estacionales, anuales,...) o detectar patrones de comportamiento.

• **Integración con Otras Herramientas de Evaluación:**

* Posibles recomendaciones sobre el uso simultáneo de otros mapas y datos (e.g., meteorológicos, de combustible, de recurrencia) para enriquecer el análisis y obtener una comprensión más profunda del riesgo.

Cualquier propuesta de modificación del contenido de los entregables citados, debidamente justificada, deberá comunicarse mediante correo electrónico / reunión técnica con la dirección técnica la cual evaluará si estas modificaciones suponen algún tipo de merma en los objetivos del trabajo.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 15 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



7. PROPIEDAD INTELECTUAL DE LOS TRABAJOS

Todos los estudios y documentos, así como los productos y subproductos elaborados por el contratista como consecuencia de la ejecución del presente contrato serán propiedad de La Consejería, quien podrá reproducirlos, publicarlos y divulgarlos, total o parcialmente, sin que pueda oponerse a ello el contratista autor material de los trabajos.

El contratista renunciará expresamente a cualquier derecho que sobre los trabajos realizados como consecuencia de la ejecución del presente contrato pudiera corresponderle, y no podrá hacer ningún uso o divulgación de los estudios y documentos utilizados o elaborados en base a este pliego de condiciones, bien sea en forma total o parcial, directa o extractada, original o reproducida, sin autorización expresa de La Consejería.

8. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

8.1. Composición

Es un objetivo prioritario de La Consejería el asegurar la calidad de los trabajos realizados. La organización de los trabajos y su ejecución debe ser tal que permita obtener un seguimiento formal del avance de los mismos.

Debe existir una organización específica prevista para el desarrollo del proyecto en la que cada función quede perfectamente identificada, y cada función tenga asignada una persona responsable de su cumplimiento.

Se establecen las siguientes figuras y órganos de dirección del proyecto:

- **Persona responsable del contrato**
- **Persona responsable de la dirección de los trabajos.**
- **Equipo de trabajo**

Las funciones y responsabilidades serán:

- **Persona responsable del contrato**

Persona designada por el órgano de contratación a la que le corresponderá coordinar, supervisar y controlar su ejecución y adoptar las decisiones y dictar las instrucciones necesarias con el fin de asegurar la correcta realización de la prestación pactada. Para el desempeño de las funciones técnicas la persona responsable del contrato nombrará una **Dirección técnica** para el seguimiento y ejecución del contrato.

Se encargará igualmente de establecer las prioridades, aprobar el Programa de realización de los trabajos propuesto por la adjudicataria, aprobar los resultados de la realización de los trabajos y de aprobar cualquier modificación que se proponga en cuanto a metodologías, constitución del equipo, o cualquier otro aspecto que se considere relevante para asegurar la buena marcha de los trabajos.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 16 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



- Persona responsable de la dirección de los trabajos.

Persona nombrada por la adjudicataria, que se corresponde con el **perfil P1** (Técnico especialista senior) definido en el PCAP, que deberá ser un/a técnico/a competente en las materias objeto del mismo, que será la persona encargada de dirigir y coordinar los trabajos y de transmitir las instrucciones precisas al personal adscrito a la ejecución del servicio provenientes de la persona responsable del contrato para garantizar su correcta ejecución.

Además, tendrá como funciones las siguientes:

- Organizar la ejecución del proyecto de acuerdo con el Cronograma de los trabajos y poner en práctica las instrucciones de la Dirección técnica.
- Asegurar que los productos y resultados intermedios que se vayan desarrollando durante la ejecución del servicio sean coherentes con los objetivos del mismo.
- Asistir a las reuniones de trabajo y de seguimiento con el Director de Proyecto de La Consejería.
- Proponer a la Dirección técnica y/o responsable del contrato las modificaciones que estime necesarias, surgidas durante el desarrollo de los trabajos.
- Asegurar el cumplimiento en los desarrollos de las normas y estándares que se definan por La Consejería.
- Facilitar a la Dirección técnica y/o responsable del contrato, la información y documentación que éste solicite para disponer de un pleno conocimiento de las circunstancias en que se desarrollan los trabajos, su grado de ejecución, así como los eventuales problemas, retrasos o adelantos que puedan plantearse y las tecnologías, métodos y herramientas utilizadas para resolverlos.
- Garantizar la calidad de los trabajos y el cumplimiento de los plazos previstos.
- Presentar al Responsable del contrato, para su aprobación, los resultados parciales y totales de la realización del proyecto.

- Equipo de trabajo, estará formado por los técnicos que el contratista aporte en su oferta para la realización del proyecto. La empresa adjudicataria mantendrá permanentemente informada al responsable del contrato de la evolución y posibles incidencias de los trabajos. Este equipo lo formarán, siguiendo las determinaciones del PCAP, los Técnicos cualificados correspondientes a los perfiles P2, P3 y P4, dos personas por cada perfil.

- Perfil Técnico: Especialista de Datos.

Persona nombrada por la adjudicataria, que se corresponde con el **perfil P2** (Técnico cualificado definido en el PCAP) Con las siguientes funciones:

- Implementación de la política de gestión de datos de la organización.
- Garante de la protección de activos mediante datos limpios y asegurados.
- Mantenimiento de la integridad de los datos y apoyo de su análisis.
- Responsable de la Política de Calidad de las TIC relacionada con los datos y de la Política de Protección de Datos.
- Contribución en Analítica de Datos.
- Definición, construcción y optimización de modelos de datos.
- Protección de la confidencialidad y seguridad de los datos.
- Apoyo al ciclo de vida de los datos.
- Curación y archivo de datos.
- Asesoramiento sobre metodologías analíticas de datos.

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 17 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



- Aseguramiento la calidad e integridad de los datos.
- Cumplimentación con las normas legales relacionadas con los datos.

- Perfil Técnico: Científico de Datos

Persona nombrada por la adjudicataria, que se corresponde con el perfil P3 (Técnico cualificado definido en el PCAP Con las siguientes funciones:

- Aplicación de lenguajes de programación como R, Python y SQL para el manejo de datos.
- Manejo de plataformas de procesamiento de big data, como Hadoop, Spark, etc.
- Manejo de librerías específicas de Machine Learning y Deep Learning (Tensorflow, Pytorch, Scikit-Learn, etc).
- Adquisición de datos a través de API's.
- Desarrollo y validación de modelos predictivos y analíticos.
- Visualización de datos para la representación efectiva de hallazgos complejos.
- Gestión y limpieza de grandes conjuntos de datos, asegurando la integridad y consistencia de los mismos.
- Implementación de medidas de seguridad de datos y cumplimiento de normativas éticas y legales pertinentes.
- Diseño y ejecución de procesos de recolección, limpieza y análisis de datos.
- Identificación de correlaciones y patrones en los datos para soportar la toma de decisiones basada en evidencia.
- Colaboración con equipos interdisciplinarios para el desarrollo e implementación de soluciones basadas en datos.

- Perfil Técnico: Analista GIS.

Persona nombrada por la adjudicataria, que se corresponde con el perfil P4 (Técnico cualificado definido en el PCAP Con las siguientes funciones:

- Uso y análisis de imágenes satelitales para la detección y seguimiento de riesgos forestales.
- Creación y manejo de datasets geoespaciales y desarrollo cartografía relacionada con riesgos forestales a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Desarrollo de mapas temáticos y análisis espacial para la identificación de áreas con riesgos forestales. Interpretación de datos de teledetección y su aplicación en la planificación y gestión de riesgos forestales.

8.2. Sustituciones o incorporaciones del personal

Todos los requisitos establecidos en el apartado 2 del punto 4.C del Anexo I del Pliego de Clausulas Administrativas Particulares deberán cumplirse durante toda la vida del contrato, por lo que deberán ser tenidos en cuenta por la empresa adjudicataria para posibles sustituciones o incorporaciones de personal que tenga lugar durante la prestación del servicio.

De forma previa a la sustitución de uno de los miembros del equipo de trabajo, el contratista deberá comunicar al responsable del contrato la identidad de la persona sustituida y sustituta, aportando la documentación acreditativa de la experiencia profesional y curriculum de la segunda al efecto de la comprobación de que el equipo de trabajo sigue manteniendo, en su conjunto, las prescripciones técnicas establecidas. El responsable del contrato comprobará el mantenimiento de dichas condiciones y, en su caso, autorizará por

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 18 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



escrito la materialización de la sustitución propuesta. En el caso contrario, comunicará al contratista la no conformidad de la sustitución y la obligación de mantener el equipo en su configuración inicial, dándole un plazo de 15 días naturales.

En el caso de que la situación persistiera, se penalizará al contratista según se recoge en el punto 11 del Anexo I del PCAP.

9. REALIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS TRABAJOS

9.1. Cronograma de Trabajo

Con carácter previo a la ejecución material de los trabajos, el adjudicatario presentará un cronograma con las actuaciones a desarrollar, que tendrá que ser aprobado por el responsable del contrato. Dicha presentación se realizará en el plazo máximo de 5 días desde la formalización del contrato.

9.2. Seguimiento de los Trabajos.

Con el objetivo de realizar el seguimiento del proyecto, se fijarán reuniones quincenales. En dichas reuniones se analizará la situación de las tareas en curso, las incidencias más significativas, los problemas detectados y el grado de cumplimiento de los objetivos marcados. Información facilitada en un documento con anterioridad a la reunión.

Será responsabilidad del contratista el realizar formalmente las actas correspondientes a todas las reuniones que se celebren a lo largo de los trabajos, debiendo así mismo gestionar la aprobación de las mismas por parte de las personas participantes.

Aparte de los informes de seguimiento, realizados por el Jefe de Proyecto, los miembros del equipo de desarrollo del contratista deberán facilitar el seguimiento continuo de las tareas que estén realizando, para lo que deberán seguir las directrices que fije La Consejería.

9.3. Aceptación de los Trabajos

La aceptación de los trabajos realizados por el adjudicatario corresponde al responsable del contrato a través de la certificación final y la correspondiente acta de recepción.

10. INFRAESTRUCTURA

El adjudicatario garantizará durante todo el periodo de ejecución del servicio que la infraestructura de computación disponga de los siguientes requisitos mínimos o equivalentes:

- 4 GPU's de al menos 10.000 núcleos CUDA y 24 GB cada una
- 192 GB de memoria RAM
- CPU de 48 núcleos

En Sevilla, a fecha de la firma digital,

El Jefe de Servicio de Análisis de la Información Ambiental

Fdo. Javier Villarreal Piqueras

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 19 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



ANEXO

I:

REFERENCIAS

- Aragó, P., Juan, P., Díaz-Avalos, C. et al. **Spatial point process modeling applied to the assessment of risk factors associated with forest wildfires incidence in Castellón, Spain**. Eur J Forest Res 135, 451–464 (2016). (<https://doi.org/10.1007/s10342-016-0945-z>)
- Ban, Y., Zhang, P., Nascetti, A., Bevington, A. R., & Wulder, M. A. (2020). **Near Real-Time Wildfire Progression Monitoring with Sentinel-1 SAR Time Series and Deep Learning**. Scientific Reports, 10(1), Article number: 1322. DOI: [10.1038/s41598-019-56967-x](<https://www.nature.com/articles/s41598-019-56967-x>).
- Bot, K., & Borges, J. G. (2022). **A Systematic Review of Applications of Machine Learning Techniques for Wildfire Management Decision Support**. Inventions, 7(1), 15. DOI: [10.3390/inventions7010015](<https://doi.org/10.3390/inventions7010015>)
- Cilli, R., Elia, M., D'Este, M., Giannico, V., Amoroso, N., Lombardi, A., Pantaleo, E., Monaco, A., Sanesi, G., Tangaro, S., Bellotti, R., & Laforzezza, R. (2022). **Explainable artificial intelligence (XAI) detects wildfire occurrence in the Mediterranean countries of Southern Europe**. Scientific Reports, 12, Article number: 16349. DOI: [10.1038/s41598-022-20347-9](<https://www.nature.com/articles/s41598-022-20347-9>).
- Deng, L., Wang, S., & Zhang, Y. (2022). ELMGAN: **A GAN-based efficient lightweight multi-scale-feature-fusion multi-task model. Knowledge-Based Systems**, 109434. DOI: [10.1016/j.knosys.2022.109434](<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.109434>)
- Jain, P., Coogan, S.C.P., Subramanian, S.G., Crowley, M., Taylor, S., Flannigan, M.D. (2020). **A review of machine learning applications in wildfire science and management**. Environmental Reviews, 28(4), 478-505. DOI: [10.1139/er-2020-0019](<https://cdnsciencepub.com/doi/10.1139/er-2020-0019>).
- Lones, M. A. (2021). **How to avoid machine learning pitfalls: a guide for academic researchers**. arXiv preprint arXiv:2108.02497. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2108.02497>.
- Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A., & Jie, W. (2019). **Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities**. Future Generation Computer Systems, 51, 47-60. <https://doi.org/10.1016/j.future.2014.10.029>
- Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G., & Johnson, B. A. (2019). **Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 152, 166-177. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
- Ouaknine, A., Kattenborn, T., Laliberté, E., & Rolnick, D. (2023). **OpenForest: A data catalogue for machine learning in forest monitoring**. arXiv preprint arXiv:2311.00277. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2311.00277>.
- Prapas, I., Kondylatos, S., Papoutsis, I., Camps-Valls, G., Ronco, M., Fernández-Torres, M.-Á., Piles Guillem, M., & Carvalhais, N. (2021). **Deep Learning Methods for Daily Wildfire Danger Forecasting**. arXiv preprint arXiv:2111.02736. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2111.02736>.
- Prapas, I., Ahuja, A., Kondylatos, S., Karasante, I., Panagiotou, E., Alonso, L., Davalas, C., Michail, D., Carvalhais, N., & Papoutsis, I. (2022). **Deep Learning for Global Wildfire Forecasting**. arXiv preprint arXiv:2211.00534. Retrieved from <https://arxiv.org/abs/2211.00534>.
- Sayad, Y.O., Mousannif, H., & Al Moatassime, H. (2019). **Predictive modeling of wildfires: A new dataset and machine learning approach**. FIRE SAFETY JOURNAL, 104, 130-146. DOI: [10.1016/j.firesaf.2019.01.006](<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711218303941>).
- Shams Eddin, M. H., Roscher, R., & Gall, J. (2023). **Location-Aware Adaptive Normalization: A Deep Learning Approach for Wildfire Danger Forecasting**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Article Sequence Number: 4703018. DOI:

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 20 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	



[10.1109/TGRS.2023.3285401](https://ieeexplore.ieee.org/document/10149031).

- Wang, M., Jiang, L., Yue, P., Yu, D., and Tuo, T.: **FASDD: An Open-access 100,000-level Flame and Smoke Detection Dataset for Deep Learning in Fire Detection**, Earth Syst. Sci. Data Discuss. \[preprint\], <https://doi.org/10.5194/essd-2023-73>, 2023.

- Zhu, X. X., Tuia, D., Mou, L., Xia, G. S., Zhang, L., Xu, F., & Fraundorfer, F. (2017). **Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, 5(4), 8-36. <https://doi.org/10.1109/MGRS.2017.2762307>

JAVIER VILLARREAL PIQUERAS		09/05/2025 09:14:51	PÁGINA: 21 / 21
VERIFICACIÓN	NJyGwVuz2cxpVx5cV7S1pu7BXJb4ls	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	